جذب زیستی کادمیم توسط سویه‌های قارچی جدا شده از پساب کارخانه‌های سرب و روی زنجان

سید منصور میبدی[1] شمس جهان فتوحی[2] اسفندیار جلیل زاده[3]
ماه رخسار فتوحی[4] طیبه جلیلی[3] شراره شاملویی[3]

(دریافت ۹۰/۶/۲۰ پذیرش ۹۰/۱۰/۱۷)

چکیده

در این مطالعه جذب زیستی فلز کادمیم از پسابهای صنعتی توسط سویه‌های قارچی جدا شده مطالعه شد. برای این منظور نمونه‌های پساب کارخانه‌های سرب و روی زنجان جمع‌آوری شد. سپس سویه‌های مقاوم به کادمیم (مخمر و یک کپک) با کشت در محیط BHI آگار حاوی سولفات کادمیم جداسازی شدند. پس از تهیه توده زیستی زنده و کشته شده اثر pH، غلظت اولیه فلز کادمیم و زمان تماس با فلز بررسی شد. در این بررسی مشخص شد که توده زیستی کشته شده مخمر و کپک توانستند به‌ترتیب ۸۶/۹۵ و ۵۸/۶۵ درصد کادمیم را از نمونه حذف کنند. همچنین توده زیستی زنده مخمر و کپک نیز به‌ترتیب ۲۹/۸۴ و۳۱/۹۴ درصد از آن را حذف کردند. بیشترین حذف در زمان ۶۰ دقیقه رخ داد. سویه‌ها با روش ژنتیکی 18SrRNA PCR sequencing شناسایی شدند. سویه مخمری با رودوسپوریدیوم تورولوئیدس SM30 ۹۹ درصد و سویه کپکی با *آسپرژیلوس ملئوس* ۱۰۰ درصد همسانی داشت. پس این سویه‌ها می‌توانند برای مطالعات اصلاح زیستی در مقیاس نیمه صنعتی استفاده شوند.

واژه‌های کلیدی: جذب زیستی، کادمیم، سویه‌های قارچی، پساب، کارخانه سرب و روی

Biosorption of Cadmium by Fungal Strains Isolated from Wastewater of Zanjan Leads and Zinc Plants

Seyyed Mansour Meybodi [1] *Shams Jahan Fotouhi [2]* *Esfandiar Jalilzadeh [3]*
Mahrokhsar Fotouhi [4] *Tayyebeh Jalili [3]* *Sharareh Shamloei [3]*

(Received Sep. 11, 2011 Accepted Jan. 07, 2012

Abstract

In this study the biosorption of cadmium from industrial wastewater was studied by isolated fungal strains. For this purpose, the effluent samples were collected from leads and zinc plant of Zanjan. Then, cadmium resistant strains (yeast and a mold) were isolated by cultivation on BHI agar containing cadmium sulfate. After preparing the living and dead biomass, the effect of pH, initial metal concentration and contact time in removal of cadmium was investigated. In this study it was found that the dead biomass of yeast and mold were able to remove86.95% and 58.65% of cadmium from the samples respectively. The results also showed that the living biomass of yeast and mold removed cadmium 29.84% and 31.94% reapectively. Most removal occurred after 60 minutes of contact time. . These strains were identified by 18SrRNA PCR sequencing method. Yeast strain had 99% homology with *Rhodosporidium toruloides* SM30and mold strain had 100% homology with *Aspergillus melleus*. Thus, these strains could be used for bioremediation studies in semi-industrial scale.

Keywords: Biosorption, Cadmium, Fungal Strains, Wastewater, Lead and Zinc Plant.

1. Assist. Prof. of Microbiology, Department of Biology, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Tonekabon
2. M.Sc. of Microbiology, Department of Biology, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Tonekabon (Corresponding Author) (+98 21) 22458676 sh_fotouhi@yahoo.com
3. Ph.D. of Social Medical, Water and Wastewater Company, Department of Water and Wastewater Quality Control Laboratory, Tehran
4. M.Sc. of Microbiology, Department of Biology, Islamic Azad University, Tonekabon Branch, Tonekabon

۱- استادیار میکروبیولوژی، گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تنکابن
۲- کارشناسی ارشد میکروبیولوژی، گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن (نویسنده مسئول) ۲۲۴۵۸۶۷۶ (۰۲۱) sh_fotouhi@yahoo.com
۳- دکترای پزشکی اجتماعی، شرکت آب و فاضلاب، آزمایشگاه کنترل کیفی آب و فاضلاب، تهران
۴- کارشناسی ارشد میکروبیولوژی، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تنکابن

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

پیشرفت روز افزون فناوری در دهه‌های اخیر مهم‌ترین عامل آلودگی محیط زیست است و صنایع مختلفی مانند چرم و معدن کاری از طریق پسابهای آلوده، مقدار زیادی فلزات سنگین مانند کروم، کادمیم، نیکل، کبالت، روی وسرب را به محیط زیست وارد می‌کنند. فلزات سنگین به گروهی از عناصر اطلاق می‌شود که دارای وزن مخصوص بیشتر از ۵ تا ۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و وزن اتمی بیش از ۵۰ گرم باشند[۱ و ۲]. حضور مقادیر سمّی فلزات در محیط اثرات مضری بر سلامت انسان و حیوان دارد و تعادل و نظم اکوسیستم را برهم می‌زند. فلزات سنگین به اعصاب، کبد و استخوان صدمه می‌زنند و عملکرد گروهی از آنزیم‌های حیاتی را مهار می‌کنند و در نتیجه می‌توانند بسیار سمّی باشند[۲].

کادمیم فلزی غیرضروی بوده که در تراکم پایین بسیار سمّی است. سمیّت کادمیم ناشی از اتصال به گروههای سولفیدریل پروتئین و شکسته شدن تک رشته DNA است[۳-۵]. سازمان بهداشت جهانی[1] مقدار مجاز کادمیم را ۰/۰۱ mg/dm^3 اعلام کرده است [۶]. طبق گزارش وزارت بهداشت ایالت متحده، شواهد کافی برای سرطان‌زایی کادمیم و ترکیبهای آن در انسان وجود دارد. از عوارض ناشی از تماس مستقیم با این فلز، اختلال در عملکرد کلیه و استخوان و سرطان کبد و خون گزارش شده است[۷ و ۸]. مطالعه راههای حذف این آلاینده‌ها بسیار ضروری است. بررسی‌ها نشان داده که روشهای شیمیایی و فیزیکی مانند اکسیداسیون- احیاء، رسوب دادن شیمیایی، پالایش، تیمار الکتروشیمیایی، تبخیر، تبادل یونی و فرایندهای اسمزی معکوس محدودیتهایی دارند و از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه نیستند و در مورد پسابهای دارای مواد آلی کمپلکس شده با فلزات، نامناسب هستند[۱ و ۲].

روشهای دیگری برای حذف فلزات بر اساس مواد زیستی مطرح شده است[۹]. در این روش از میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری، قارچ و جلبک برای حذف استفاده می‌شود. این میکروارگانیسم‌ها قادراند انواعی از فلزات سنگین را در سطح خود جذب کنند. برای جذب از توده زنده و یا غیر زنده آنها استفاده می‌شود که قادراند اثرات سمّی فلزات را از بین ببرند[۱۰]. دیواره سلولی این میکروارگانیسم‌ها دارای گروههای عملکردی مثل آمین، هیدروکسیل، کربوکسیل و سولفات هستند که به‌عنوان جایگاه اتصال فلزات عمل می‌کنند[۱۱]. مزایای فرایند جذب زیستی از جمله ارزان قیمت بودن، جذب سریع و کارایی بالا، ظرفیت بالای جذب، خاصیت انتخابی مواد جاذب زیستی در جذب فلزات، قابلیت احیای جاذب، استفاده مجدد از آن و بازیافت فلزات جذب شده باعث مطلوب بودن این فرایند برای حذف فلزات سنگین شده است[۱۲]. هدف از این مطالعه جداسازی قارچ‌های مقاوم به کادمیم از پساب کارخانه‌های سرب و روی شهر زنجان و تعیین میزان حذف کادمیم توسط سویه‌های جدا شده با درنظر گرفتن عوامل نوع توده زیستی، pH و زمان بود.

۲- مواد و روشها

۲-۱- نمونه‌برداری

با استفاده از ظروف سترون مخصوص، نمونه‌های پساب از چند کارخانه سرب و روی شهر زنجان جمع‌آوری و پس از حمل در جعبه یخ، فوراً به آزمایشگاه منتقل شد تا مراحل مختلف کار روی آن انجام گیرد.

۲-۲- جداسازی و تخلیص سویه‌ها

برای جداسازی سویه‌های مناسب مقاوم به کادمیم از پساب کارخانه‌های سرب و روی، از محیط کشت BHI آگار حاوی ۵ و ۱۰ میلی‌مولار سولفات کادمیم استفاده شد. پس از ۳ روز گرمخانه‌گذاری در دمای ۳۰ درجه سلسیوس پرگنه‌های مختلف جداسازی شدند.

۲-۳- شناسایی ژنتیکی سویه‌ها

برای تعیین هویت دقیق سویه‌ها، روش شناسایی ژنتیکی استفاده شد. بنابراین ماده ژنتیکی سویه طبق دستور کیت سیناژن با Cat.No.DN8115C استخراج و با کمک پرایمرهای Its1 (TCCGTAGGTGAACCTTGCGG) و Its4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) واکنش زنجیره‌ای پلیمراز انجام گردید. محصولات PCR برای تعیین توالی و تأیید سویه به شرکت ماکروژن[2] کره جنوبی فرستاده و پس از تعیین نتیجه توالی یابی با استفاده از برنامه BLAST در سایت NCBI نتیجه ارزیابی گردید.

۲-۴- تعیین مقاومت به کادمیم

پرگنه‌های جداسازی شده برای تعیین مقاومت بر روی محیط کشت‌های نوترینت آگار حاوی غلظتهای مختلف کادمیم کشت داده شدند و MIC آنها تعیین گردید.

۲-۵- تهیه بیومس

به این منظور سلول‌های میکربی در شرایط هوازی در فلاسک

[1] World Health Organization (WHO)

[2] Macrogen

Archive of SID
www.SID.ir

حاوی ۵۰۰ میلی‌لیتر محیط کشت BHI-broth کشت داده شد و بر روی شیکر دورانی با سرعت ۱۵۰ rpm در دمای ۳۰ درجه سلسیوس نگهداری گردید. پس از گذشت سه روز، سوسپانسیون سلولی در ۵۰۰۰ rpm به‌مدت ۳۰ دقیقه سانتریفوژ گردید و رسوب سلولی با سرم فیزیولوژی دو بار شستشو داده شد و مجدداً سانتریفوژ گردید. سپس توده سلولی با دستگاه انجماد در خلاء خشک و برای مجاورسازی با محلولهای حاوی کادمیم استفاده شد[۱۳]. به‌منظور بررسی عمل جذب توسط سویه کشته شده، آزمایش جداگانه‌ای صورت گرفت. ارلن حاوی سوسپانسیون میکربی پس از طی شرایط ذکر شده تلقیح و گرماگذاری شد و در فشار ۱/۵ اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس، به‌مدت ۲۰ دقیقه اتوکلاو شد و مانند توده زنده عمل گردید[۱۳].

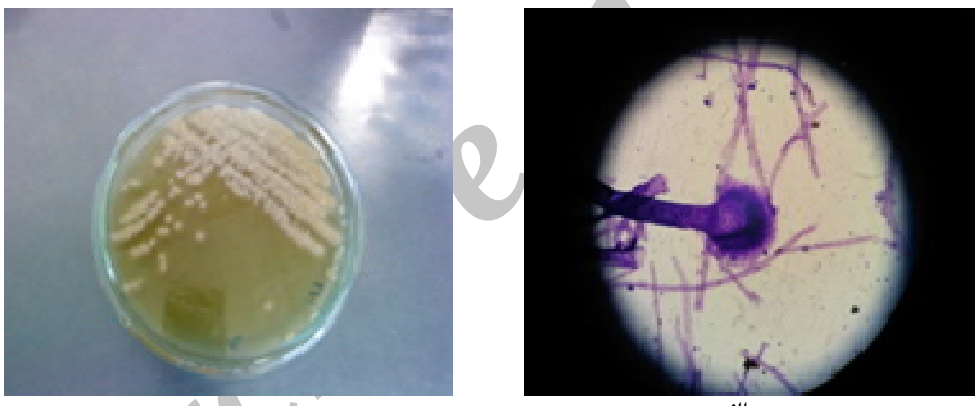
۲-۶- بررسی جذب کادمیم

برای انجام عملیات حذف، ۱۰ میلی‌گرم توده خشک با ۱۰ میلی‌لیتر محلول حاوی فلز کادمیم در ارلن مایر مخلوط و روی شیکر دورانی با دور ۱۵۰ rpm در دمای آزمایشگاه به‌مدت یک ساعت تکان داده شد. پس از این مدت محتویات ارلن‌ها در ۵۰۰۰ rpm سانتریفوژ گردید ومحلول رویی به‌منظور تعیین میزان کادمیم باقیمانده، به‌کمک دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی مدل Spectr AA 220 سنجش شد و تأثیر عواملی مانند pH، غلظت اولیه کادمیم و زمان تماس در میزان جذب بررسی گردید[۱۳]. میزان جذب کادمیم با کمک معادله ایزوترمی $Q = V(C_i - C_f)/m$ ارزیابی شد.

۳- نتایج

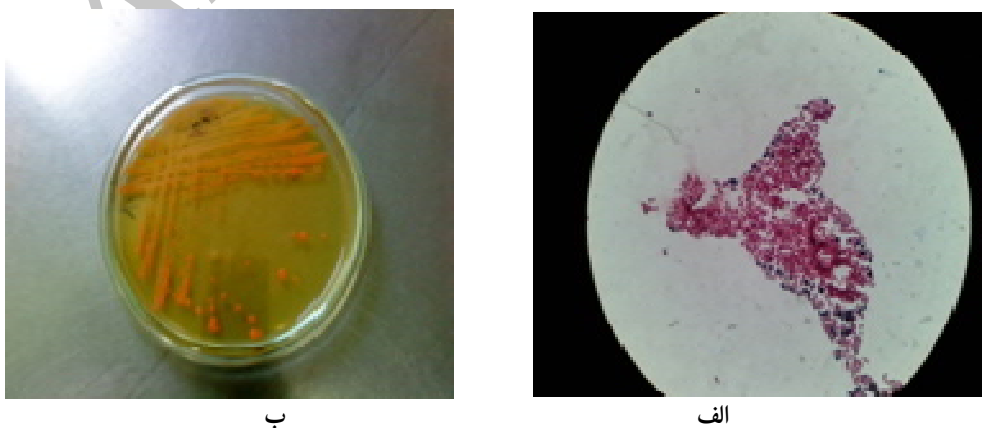
در این مطالعه از میان میکروارگانیسم‌های جدا شده، یک سویه مخمری و یک سویه کپکی که مقاومت بالاتری نسبت به کادمیم داشتند، برای سنجش میزان حذف کادمیم استفاده شدند. در شکل ۱ پرگنه میکربی در کنار میکروسکوپی سویه کپکی مشاهده می‌شود.

در شکل ۲ پرگنه میکربی در کنار میکروسکوپی سویه مخمری مشاهده می‌شود.



الف ب

شکل ۱- الف- پرگنه کپکی و ب- میکروسکوپی ۱۱۰۰×



الف ب

شکل ۲- الف- پرگنه مخمری و ب- میکروسکوپی ۱۱۰۰×

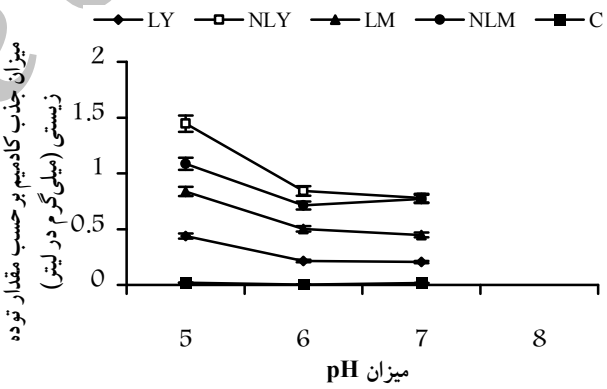
www.SID.ir

تأثیر اسیدیته در حذف، توسط توده‌های زیستی زنده و کشته شده در pH های ۵، ۶ و ۷ در کنار شاهد بدون میکرب آزمایش شد و بر اساس آنالیز آماری دانکن[1] نشان داده شد در pH برابر ۵ بیشترین میزان حذف کادمیم وجود دارد. در جدول ۱ نتایج مربوطه مشاهده می‌شود. لازم به‌ذکر است که میزان اولیه کادمیم در نمونه ppm ۲ بود.

جدول ۱- آزمون دانکن برای مقایسه میانگین نتایج توده زیستی زنده و کشته شده، مخمر و کپک برای بررسی تأثیر pH

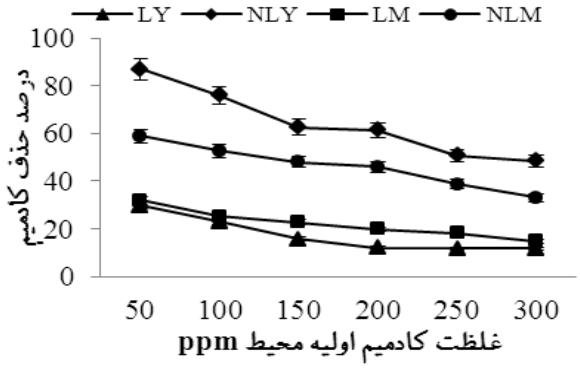
نوع توده سلولی	pH		
	۵	۶	۷
بیومس زنده مخمر	۱/۵۶۱۳ ^{a}	۱/۷۸۵۰ ^{b}	۱/۷۹۵۰ ^{b}
بیومس کشته شده مخمر	۰/۵۵۴۰ ^{a}	۱/۱۵۷۷ ^{b}	۱/۲۲۱۵ ^{b}
بیومس زنده کپک	۱/۱۶۳۰ ^{a}	۱/۴۹۷۷ ^{b}	۱/۵۵۲۰ ^{b}
بیومس کشته شده کپک	۰/۹۱۳۷ ^{a}	۱/۲۸۷۳ ^{b}	۱/۲۲۹۳ ^{b}
شاهد	۱/۹۸۰۰ ^{a}	۱/۹۹۶۷ ^{a}	۱/۹۸۳۳ ^{a}

میزان جذب کادمیم در سه pH ۵، ۶ و ۷ برای توده‌های زنده و مرده سلولی در کنار شاهد منفی در شکل ۳ بر مبنای روش ایزوترمی مشخص شده است.



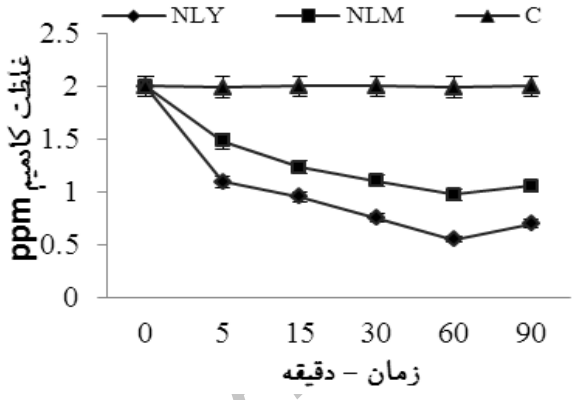
شکل ۳- تغییرات جذب کادمیم در سه pH ۵، ۶ و ۷ برای توده‌های زنده و مرده سلولی در کنار شاهد منفی با روش ایزوترمی.
LY مخمر زنده، NLY مخمر غیر زنده، LM کپک زنده، NLM کپک غیر زنده و C شاهد

با مشخص شدن بهترین pH حذف کادمیم از پساب و همچنین انتخاب نوع بیومس مناسب برای بررسی تأثیر غلظت فلز بر میزان حذف، غلظتهای ppm ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کادمیم آزمایش شدند که هر دو سویه در غلظت ppm ۵۰ بالاترین حذف را نشان دادند و بیومس کشته شده مخمر ۸۶/۹۶ درصد و بیومس کشته شده کپکی ۵۸/۹۶ درصد کادمیم را حذف کردند. در شکل ۴ درصد حذف کادمیم در غلظتهای مختلف فلز در انواع سویه‌های مورد آزمایش مشاهده می‌شود.



شکل ۴- درصد حذف کادمیم در غلظتهای مختلف فلز در انواع سویه‌های مورد آزمایش

نتایج حاصل از عامل زمان در حذف کادمیم توسط توده‌های زیستی کشته شده مخمری و کپکی نشان داد که در زمان ۶۰ دقیقه بیشترین میزان حذف کادمیم وجود دارد (شکل ۵).



شکل ۵- تأثیر عامل زمان بر حذف کادمیم توسط توده‌های منتخب در کنار شاهد، میزان کادمیم اولیه ppm ۲ است

همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو سویه میزان کادمیم را کم کردند و این کاهش در طول زمان، برای توده زیستی مخمری نمود بیشتری داشت. نتایج آنالیز ژنتیکی برای نمونه مخمری نشان داد که سویه مربوطه ۹۹ درصد همسانی با رودوسپوریدیوم تورولوئیدس سویه SM30 دارد. نتایج آنالیز ژنتیکی برای نمونه کپکی نشان داد که سویه مربوطه ۱۰۰ درصد همسانی با آسپرژیلوس ملئوس دارد.

[1] Duncan

www.SID.ir

۴- بحث

در بررسی‌هایی که روی توده زیستی زنده و غیر زنده مخمر و کپک انجام شد، مشخص گردید که توده زیستی غیر زنده بیشتر از توده زنده، کادمیم را جذب می‌کند. قربانی و همکاران نشان داده‌اند که توده زیستی غیر زنده مخمر *ساکارومایسس سرویسیه*[1] میزان بیشتری از کادمیم را از محلول جذب کرده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد[۱۴]. در بررسی اثر pH بر میزان جذب کادمیم توسط مخمر و کپک مشخص شد، صرف نظر از مقادیر متفاوت جذب، تقریباً در همه pH ها جذب صورت گرفته و کادمیم از محلول حذف می‌شود ولی بالاترین میزان حذف در pH برابر با ۵ انجام شد. فورست و همکاران[2] نشان داده‌اند که ارتباط pH با حذف فلزات سنگین در سلول‌های قارچی می‌تواند به گروههای مختلف عملکردی سطح سلول و شکل یونی فلز در محلول بستگی داشته باشد[۱۵].

ژیجیان و همکاران[3] نشان داده‌اند که بیشترین میزان جذب کادمیم توسط رودوتورولا سویه Y11 در pH برابر ۴ صورت می‌گیرد [۱۶]. مطالعات دیگری که توسط فورست و همکاران در سال ۱۹۹۲ و گوکسونگور و همکاران[4] در سال ۲۰۰۵ در این زمینه انجام شده است، نتایج مشابهی را در مورد اثر pH بر حذف کادمیم نشان داده است که با نتایج حاضر منطبق است[۱۵ و ۱۷]. اثر غلظتهای مختلف کادمیم بر میزان حذف توسط توده زیستی زنده و غیر زنده مخمر و کپک بررسی شد. بیشترین میزان حذف کادمیم توسط آنها در غلظت ppm ۵۰ صورت گرفته است که در این غلظت، توده کشته شده مخمری ۸۶/۹۵ درصد و توده کشته شده کپکی ۵۸/۹۶ درصد کادمیم را حذف کردند. نتایج مطالعه قربانی و همکاران مشابه این مطالعه است و با افزایش غلظت کادمیم میزان حذف آن کاهش می‌یابد که می‌تواند به‌دلیل اشباع شدن ساختارهای سطحی مخمر و کپک باشد[۱۴].

اثر زمان تماس در مورد توده زیستی کشته شده مخمر و کپکی بررسی شد و نتایج حاصل نشان داد که با افزایش زمان، میزان جذب بالا می‌رود و در زمان ۶۰ دقیقه به حداکثر خود می‌رسد و پس از این مدت، تقریباً با یک روند ثابت میزان جذب کاهش می‌یابد. دلیل این مسئله می‌تواند بیانگر غیر فعال یا سطحی بودن جذب توسط بیومس باشد[۱۸]. مطالعات دیگری در ایران در مورد جذب زیستی فلزات سنگین انجام شده و از جاذبهای زیستی مختلفی استفاده شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به پژوهشی که توسط فرازمند و همکاران انجام گرفته است اشاره کرد که با استفاده از باکتری‌های احیاءکننده سولفات توانسته‌اند یون‌های کادمیم را حدود ۸۰ تا ۹۱ درصد حذف کنند[۱۹]. در مطالعه خرم‌آبادی و همکاران با استفاده از لجن فعال خشک شده به‌عنوان جاذب کادمیم ۳۹/۸۴ میلی‌گرم کادمیم بر گرم جذب شده است[۱۲].

۵- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش یافتن سویه‌های قارچی مقاوم به کادمیم برای حذف این فلز سنگین از محلولهای فلزی مربوطه بود. برای این منظور متغیرهای pH، غلظت یون فلزی، نوع توده زیستی و زمان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل شده نشان داد که توده زیستی کشته شده مخمری بیشترین جذب کادمیم را در محلول فلزی دارد که می‌تواند برای تیمار پسابهای حاوی کادمیم استفاده شود. در مجموع فناوری‌های جذب فلزی توسط میکروارگانیسم‌ها کماکان در حال توسعه است و کار بیشتری لازم دارد.

۶- قدردانی

نویسندگان این تحقیق از پرسنل آزمایشگاه آب و فاضلاب استان تهران و آزمایشگاه ژنتیک مولکولی دانشگاه آزاد اسلامی تنکابن که در پیشبرد تحقیق کمک کردند، قدردانی می‌نمایند.

[1] *Saccharomyces Cerevisiae*
[2] Fourest et al.
[3] Zhijian et al.
[4] Goksungur et al.

۷- مراجع

1- Timberleey, M., and Rome, I.P. (2002). "Microorganisms and metal pollutants." *J. of Environmental Microbiology*, 17, 403-423.

2- Malik, A. (2004). "Metal bioremediation through growing cells." *J. of Environment International*, 30, 261-278.

3- Mark, R.B., Sanjay, K., and Fredrick, W.O. (2000). "Review microbial resistance to metals in the environment." *J. of Ecotoxicology and Environment Safety*, 45, 198-207.

Archive of SID
www.SID.ir

4- Nucifora, G., Chu, L., Misra, T., and Silver, S. (1998). "Cadmium resistance from *Staphylococcus aureus* Plasmid PI258cadA gene results from cadmium efflux ATPase." *J. of Iochemistry*, 86, 3544-3548.
5- Silver, S., and Phung, L. (1996). "Bacterial heavy metal resistance new surprises." *J. of Annu. Rev. Microbial*, 50, 753-769.
6- Mahvi, A.H. (2008). "Cadmium biosorption from wastewater by ulmus leaves and their Ash." *European J. of Scientific Research*, 23(2), 197-203.
7- Sari, A., and Tuzen, M. (2008). "Biosorption of cadmium (II) from aqueous solution by red algae (*Ceramium virgatum*): Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies." *J. of Hazard. Mater.*, 157, 448-454.
8- Sheng, P.X., Ting, Y.P., Chen, J.P., and Hong, L. (2004). "Sorption of lead, copper, cadmium, zinc, and nickel by marine algal biomass: characterization of biosorptive capacity and investigation of mechanisms." *J. of Colloid Interf. Sci*., 275, 131-141.
9- Raras, A.G. (1995). "Biological and biotechnological waste management in material processing." *J. of Mineral. Metals. Mater. Soc.*, 47, 56-63.
10- Chovanova, K., Sladekova, D., Kemet, V., Proksova, M., Harichova, J., Puskarova, A., Pole, B., and Ferianc, P. (2004). "Identification and characterization of eight cadmium resistant bacterial isolates from a cadmium-contaminated sewage sludge." *J. of Biologia Bratislava*, 59(6), 817-827.
11- Hetzer, A., Daughney, J.C., and Morgan, H.H. (2006). "Cadmium ion biosorption by the thermophilic bacteria *Geobacillus stearothermophilus* and *G.thermofatenulatus*." *J. of Applied and Enviromental Microbiology*, 72(6), 4020-4027.
12- Khorramabadi، Gh.، Darvishi، R.، and Jorfi، S. (2010). "Cd(II) Adsorption using waste sluge from a municipal wastewater treatment system." *J. of water and Wastewater*, 1, 57-62. (In Persian)
13- Ozdemir, G., Ceyhan, N., Ozturk, T., Akirmak, F., and Cesar, T. (2004). "Biosorption of chromium (VI), cadmium (II), copper (II) by *Pantoea* sp.TEM18." *J. of Chemical Engineering*, 102, 249-253.
14- Ghorabani, F., and Younesi, H. (2009). "Biosorption of cadmium (II) ions by *Saccharomyces cerevisiae* biomass from aqueous solutions." *J of Water and Wastewater*, 68, 33-39. (In Persian)
15- Fourest, E., and Roux, J.C. (1992). "Heavy metal biosorption by fungal mycelial by-products: Mechanisms and influence of pH." *J. of Appl Microbiol Biotechnol*, 37, 399-403.
16- Li, Z., and Yuan, H. (2006). "Characterization of cadmium removal by *Rhodotorula* sp. Y11." *J. of Appl Microbiol Biotechnol.*, 73, 458-463.
17- Göksungur, Y., Üren, S., and Güvenc, U. (2005). "Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass." *J. of Bioresour. Technol.*, 96,103-109.
18- Donmez, G.C., Aksu, Z., Ozturk, A., and Kutsal, T. (1999). "A comparative study on heavy metal biosorption characteristics some algae." *J. of Process Biochem*, 34, 885-892.
19- Farazmand, A., Kazemi, M.A., Gheaisari, A., and Orumieh, H.R. (2001). "Biological treatment of heavy metal by sulfat reducing bacteria." *J. of Water and Wastewater*, 37, 16-24. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir